

III-48

機械式シールドの掘削性能について(その2)

掘削性能の評価方法に関する検討

不動建設(株) 正会員 川瀬泰裕 新沼 裕
 日本国土開発(株) 正会員 二宮康治 石田智朗
 三井造船(株) 箱崎光政 江澤一明

1. はじめに

シールドトンネルの大断面化は、その可能性について種々検討されているものの漠然とした感がまねがれない。シールドのカッターに着目すると、その掘削性能は従来 $v=n \cdot t \cdot N$ (v : 掘進速度、 n : ビットパス数、 t : 切削深さ、 N : カッター回転数) を基本に評価されている。しかし、その適用性、カッター構造とのつながりが明確でないように思われる。本文は、大断面シールドのカッター構造を考える第一ステップとして平刃の切削機構をその掘削性能の評価に適用し、ビット挙動と必要外力の関係を求め検討したので、その結果を報告するものである。

2. シールド施工時のカッタービットの挙動

適切に管理されたシールド施工において、地盤条件が一定の場合掘進中の速度・推力・トルクはほぼ安定しているので、カッタービットは一定速度で移動及び貫入していくと想定できる。この状況をカッター面板の半径 r の位置に取付けられたビットに着目し、ビット摺動距離と貫入量の関係で図-1に示す。ビットはその直前の先行するビットで切削された面を切削するため切削深さ t は一定 (t_0) となり、カッター1回転当りの貫入量を δ 、ビットパス数を n とすると t_0 は次式であらわせる。

$$t_0 = \delta / n \quad (1)$$

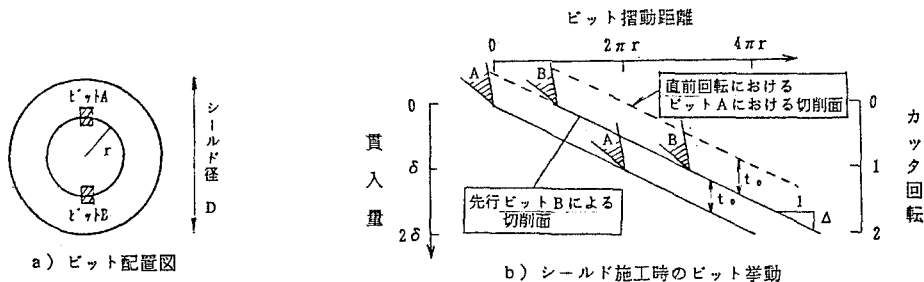


図-1 シールド施工時のカッタービットの挙動

また、ビットの貫入状況は、ビット取付け位置によらず1回転当りのビット貫入量 δ は一定なので、取付位置(半径 r) に対応した勾配で貫入することになり、貫入勾配 Δ は次式で与えられる。

$$\Delta = \delta / (2\pi r) \quad (2)$$

3. シールド掘進速度とビット貫入勾配

掘進速度 v は、カッター回転数 N により次式であらわせる。

$$v = \delta \cdot N \quad (3)$$

一方回転数 N は、実績的にカッターヘッド外周部の周速が 20 m/min 程度になるように設定される。 $N = 20/\pi D$ (D : シールド外径) とすると、シールド径、掘進速度、ビット貫入勾配の関係は式(2)、(3)より求まり、図-2のようになる。

カッター中央付近は、外周部に比べ大きな貫入勾配が必要になる。

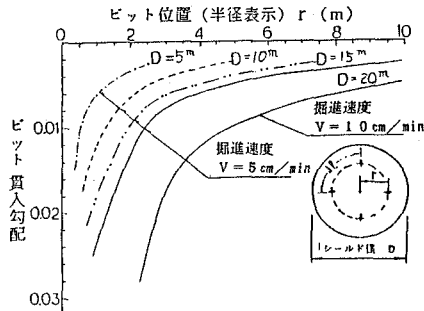


図-2 ビットの貫入勾配

4. カッタービットの切削機構

カッタービットの切削機構は、ビット自身は回転せず刃面に平行に移動して掘削し、その形態は平削でビットが地中にくい込んでいくことから、平削の非定常切削機構を適用できる。

その基礎式は、図-3のt方向の力のつり合いから、次式で与えられる。

$$K - V\alpha = V_i \quad (3)$$

$$V\alpha = 1.82 \cdot e_s \cdot B \cdot t^2 \cdot 10^{-m} \alpha \tan(\delta - \alpha)$$

$$V_i = b \cdot B \cdot t \cdot dt/dx$$

ここで、 e_s は切削強度指数、 B はビット幅、 m は実験常数、 α はビットすくい角、 b は貫入抵抗係数、 δ は、ビットと地盤の摩擦抵抗角である。切削深さ一定（ $t=t_0$ ）の条件で式（3）を単位刃幅当りの力であらわすと次式となる。

$$k - 1.82 \cdot e_s \cdot 10^{-m} \alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \cdot t_0^2 = b \cdot t_0 \cdot dx/dt \quad (4)$$

刃先軌跡は、式（4）を積分して得られ、次式となる。

$$t = [k - 1.82 \cdot e_s \cdot 10^{-m} \alpha \cdot \tan(\delta - \alpha) \cdot t_0^2 / (b \cdot t_0)] \cdot x + t_0 \quad (5)$$

また、この時ビットに作用する単位刃幅当りの切削抵抗水平力（ $H\alpha/B$ ）は、次式で決まる。

$$H\alpha/B = 1.82 \cdot e_s \cdot 10^{-m} \alpha \cdot t_0^2 \quad (6)$$

5. 切削機構からみたビットの貫入特性

式（5）より求めたビット軌跡を図-4に例示した。また、種々の切削深さに対し、押込み力 k 、貫入勾配 Δ 、ビット間隔 $\Delta\ell$ の関係を求め、図-5に整理した。同図より①ビットの押込み力 k に対応してビットの貫入勾配は変化する。②押込み力 k 、切削深さ t_0 によって決まる貫入勾配 Δ は、先行するビットとの間隔を $\Delta\ell$ とすると、 $\Delta = t_0 / \Delta\ell$ であらわされるので、ビット間隔 $\Delta\ell = \Delta / t_0$ が必要となることがわかる。

図-2、5を用いれば設定された掘進速度に対し、必要とされるビット貫入勾配を得るためのビット形状、配置、必要外力（押込み力、切削水平力）を求めることができる。

6. まとめ

以上の検討の結果、

①シールドを一定速度で掘進するためには、カッタービットは面

板上の取付け位置に応じて異なった勾配で地山に貫入切削することが必要になる。

②その貫入勾配を得るために必要なビット構造は式（5）を用いて、定量的に評価できる。

ことが明らかになった。従来の掘進スピードを保って、シールドを大断面化すると、ビットは、小中断面に比べ急勾配で貫入することが必要となる。特に、カッター中央部ではその傾向が強いので、貫入特性の優れたビット構造、掘削方法のいっそうの技術開発が必要と思われる。

今後、上記の評価法の適用性を含め、この課題を検討してゆく予定である。なお、この検討は、地下総プロ「大深度、大断面シールドトンネルの設計・施工技術に関する研究」において、建設省土木研究所、（財）先端建設技術センターとの共同研究として実施した。

（参考文献）

1) 畠 昭次郎：「土の掘削機構について」土と基礎・最近の工法 土質工学会 1967

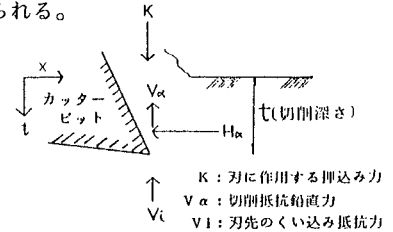


図-3 ビット刃先の力のつり合い

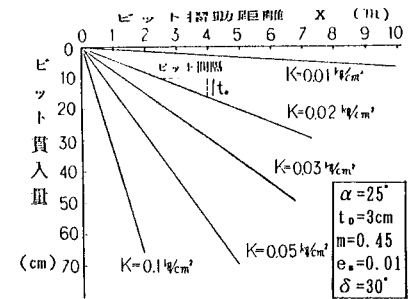


図-4 ビット貫入軌跡

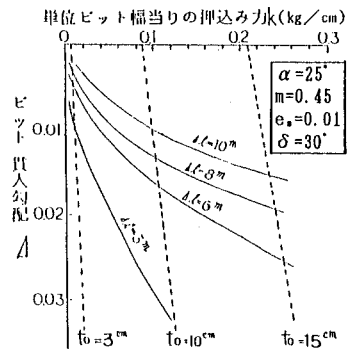


図-5 ビットの貫入特性